补喂支链氨基酸对速步马 1 km 速步赛成绩及赛前、赛后血浆生化指标的影响

李晓斌　马　军　聂彪彪　杨景焘　乔春江　杨开伦*

（新疆农业大学动物科学学院，新疆肉乳用草食动物营养重点实验室，乌鲁木齐 830052）

摘　要：本试验研究补喂支链氨基酸对速步马 1 km 速步赛成绩及赛前、赛后血浆抗氧化指标以及激素、肌酸、葡萄糖、乳酸、肌酐含量的影响，为支链氨基酸在速步马训练、比赛等的应用提供参考数据。试验选取年龄相近（4 岁左右）、体重相近[（457±50） kg]并经过严格训练的伊犁马公马 8 匹（速步赛用马），随机分为 2 组，分别为对照组、试验组，每组 4 匹。每天每匹马分别饲喂 3 kg 颗粒精料，苜蓿干草自由采食，在此基础上试验组每天每匹马补喂 72 g 支链氨基酸（由 35 g 亮氨酸、16.6 g 异亮氨基酸、20.4 g 缬氨酸组成），进行为期 38 d（预试期 7 d，正试期 31 d）的补饲试验及训练试验。结果表明：补喂支链氨基酸可提高速步马的比赛成绩，同时显著提高速步马赛后 30 min 血浆总抗氧化能力及赛后 24 h 血浆超氧化物歧化酶活力（P<0.05），但对血浆中激素、肌酸、葡萄糖、乳酸、肌酐含量无显著影响（P>0.05）。由此得出，补喂支链氨基酸可缩短速步马比赛用时，提高速步马机体的抗氧化能力，但对血浆中激素、葡萄糖、肌酸、乳酸、肌酐含量无显著影响。

关键词：支链氨基酸；伊犁马；运动性能；血浆生化指标

支链氨基酸（branched-chain amino acid,BCAA）由亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸组成，不仅可作为机体的能源物质，进入机体后参与肌肉细胞的合成代谢，为肌肉的收缩储备能量，还可参与机体代谢，抑制机体氧化应激、调节激素水平[1]。Chang等[2]研究证实BCAA可提高

收稿日期：2015-11-13
基金项目：新疆维吾尔自治区重大科技专项资金资助（201130101）
作者简介：李晓斌（1988-），男，新疆乌鲁木齐人，博士研究生，研究方向为动物营养与代谢。E-mail: 172387243@qq.com
*通信作者：杨开伦，教授，博士生导师，E-mail: yangkailun2002@aliyun.com

人的肌肉力量，从而提高运动性能。王良峡等[3]认为BCAA可参与供能与糖代谢，具有调节体内蛋白质代谢、抗运动性疲劳、清除自由基、保护线粒体等作用。伊犁马主要产于新疆伊犁哈萨克自治州，具有体型外貌基本一致、遗传性能稳定、力速兼备、繁殖性能好、耐粗饲、抗病能力强等特点，是良好的速步马品种[4]，经测定，伊犁马速力测试成绩5 km用时6 min 35 s，但与国外一流速步马相比，伊犁马仍存在速步性能差、速步训练中易疲乏、恢复慢等问题，严重制约了伊犁马良好运动性能的发挥。因此，本试验基于BCAA对动物机体供能、抗氧化及有益于运动后机体恢复的研究，以伊犁马速步马为试验动物，通过饲喂试验探究BCAA对速步马运动性能、机体抗氧化能力及血浆激素含量的影响，为改善速步马运动性能提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物选择与试验设计

本试验选取年龄相近（4 岁左右）、体重相近[（457±50） kg]并经过严格训练的伊犁马公马（速步赛用马）8 匹，随机分为 2 组，分别为对照组、试验组，每组 4 匹，每天每匹马分别饲喂 3 kg 颗粒精料，苜蓿干草自由采食，在此基础上试验组每天每匹马补喂 72 g BCAA（由 35.0 g 亮氨酸、16. 6 g 异亮氨基酸、20.4 g 缬氨酸组成，上述氨基酸均购自中山市佳汇食品添加剂有限公司）（试验设计及分组见表 1），进行为期 38 d（预试期 7 d，正试期 31 d）的补喂试验及训练试验。

表 1 试验设计及分组

Table 1 Experiment design and group

项目 Items	马匹数量 Number of horse	苜蓿干草 Alfalfa hay/kg	颗粒精料 Pelleted concentrate/kg	补喂 Supplemental feeding
对照组	4	自由采食	3	无

Control group				
试验组 Trail group	4	自由采食	3	72 g BCAA

1.2 饲养管理及饲粮组成

试验马匹单厩饲养，采用先粗后精的饲喂方法，将 3 kg 颗粒精料平均分为 3 份，分别于每天早（07:00）、中（15:00）、晚（23:00）进行饲喂，BCAA 平均分为 2 份，分别于每天早（07:00）、晚（23:00）进行补喂。自由采食苜蓿干草，自由饮水。待颗粒精料采食完后，将马匹牵入活动场，让其自由活动，4 h 后安排训练。马厩每天按时打扫，清除粪便和垫料，并换干燥柔软的垫料。

试验马匹采用间歇式训练方法。马匹训练 1 d 休息 1 d。马匹在采食后 4 h 开始训练，在 1 km 赛道上先慢走热身 1 圈，然后逐渐加快速度慢走 1 圈，再以最快速度快步 1 圈，最后逐渐减慢速度 1 圈。中间休息 5~10 min，将以上的训练重复 1 次，即全天的训练结束。

本试验使用的颗粒精料组成及营养水平见表 2。

表 2 颗粒精料组成及营养水平(干物质基础)

Table 2 Composition and nutrient levels of pelleted concentrate (DM basis） %

原料 Ingredients	含量 Content	营养水平 Nutrient levels	含量 Content
玉米 Corn	44.00	干物质 DM	93.71
燕麦 Oat	15.00	有机物 OM	90.03
大麦 Barley	15.00	粗蛋白质 CP	13.09
大豆粕 Soybean meal	20.00	中性洗涤纤维 NDF	45.89
鱼粉 Fish meal	1.00	酸性洗涤纤维 ADF	20.56
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	3.00	钙 Ca	0.39

食盐 NaCl	1.00	磷 P	0.88
预混料 Premix[1)]	1.00	消化能 DE/(MJ/kg)[2)]	20.78
合计 Total	100.00		

[1)]预混料为每千克精料提供 The premix provided the following per kg of concentrate:VA 480 IU，VB_1 816.32 mg，VB_2 333.2 mg，VB_6 48.96 mg，VD 70.4 IU，VE 21 333.36 IU，泛酸 pantothenic acid 20.46 mg，烟酰胺 nicotinamide 484.85 mg，Cu (as copper sulfate) 10.58 mg，Fe (as ferrous sulfate) 5.56 mg，Mn (as manganese sulfate) 33.54 mg，Zn (as zinc sulfate) 30.92 mg，I (as potassium iodide) 2.46 mg，Se (as sodium selenite) 5.93 mg，Co (as cobalt chloride) 1.11 mg。

[2)]除消化能为计算值，其余指标均为实测值。DE was a calculated value and others were measured values.

1.3 数据获得及样品采集

1.3.1 速步赛成绩的获得

分别在正试期第 0 天（正试期开始前）、第 31 天进行 1 km 速步赛并使用秒表测定 1 km 速步赛成绩。

1.3.2 速步赛心率数据的获得

在正试期第 31 天进行速步赛，分别于赛前 1 h、赛后即刻、赛后 30 min 使用 Polar 脉搏仪，在速步马胸部测定速步马的心率。

1.3.3 血浆的采集

在正试期第 31 天进行速步赛，分别于在赛前 1 h、赛后 30 min、赛后 24 h 在速步马颈静脉处采集血样 5 mL 至肝素钠采血管中，1 500×*g* 离心 15 min，制取血浆并-20 ℃冷冻保存备用。

1.4 测定指标及方法

血浆中过氧化氢酶(catalase,CAT)、谷胱甘肽过氧化物酶(glutathion peroxidase,GSH-Px)、超氧化物歧化酶（superoxide dismutase,SOD）活力，总抗氧化能力（total antioxidant capacity,T-AOC）以及丙二醛（malondialdehyde,MDA）、胰岛素（insulin,INS）、胰高血糖素（glucagon,Gc）、皮质醇（cortisol,COR）、葡萄糖（glucose,Glu）、乳酸（lactic acid,LA）、肌酐（creatinine,Cre）含量使用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒测定；血浆中肌酸（creatine）含量使用美国 Sigma 公司生产的试剂盒测定。

1.5 数据处理

试验结果均以平均值±标准差表示。试验数据采用 SPSS 16.0 软件中的 ANOVA 程序进行单因素方差分析，差异显著者采用 Duncan 氏法进行多重比较检验。$P>0.05$ 为差异不显著，$P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2 结果与分析

2.1 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛成绩的影响

从表 3 可知，试验开始前试验组与对照组 1 km 速步赛用时差异不显著（$P>0.05$）。在试验第 31 天进行 1 km 速步赛后，试验组成绩有所提高。在整个试验期，试验组 1 km 速步赛的用时明显缩短，比对照组缩短 32.53%（$P>0.05$）。

表 3 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛成绩的影响

Table 3 Effects of supplemental feeding BCAA on result of 1 km trottring race in trotters (n=4) s/km

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trail group	*P* 值 *P*-value
第 0 天比赛成绩 Test scores at the 0th d of the race	134.37±9.81	153.71±29.75	0.337
31 d 比赛成绩 Test scores at the 31st d of the race	116.47±14.71	130.00±20.57	0.381

第 0 天到第 31 天减少用时 Time shorten of the 0th to 31st d	17.89±5.91	23.71±4.18	0.598

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)，不同大写字母表示差异极显著(P>0.01)。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (P>0.01). The same as below.

2.2 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后心率的影响

从表 4 可知，在 1 km 速步赛前 1 h，各组马匹处于稳定的生理状态，心率差异不显著(P>0.05)。在赛后即刻，各组马匹心率明显上升，对照组最为明显，比试验组高 12.62%(P>0.05)。赛后 30 min，各组马匹心率恢复到正常水平。

表 4 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后心率的影响

Table 4 Effects of supplemental feeding BCAA on heart rate of before and after 1 km trottring race in trotters

(n=4) bpm

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trail group	P 值 P-value
赛前 1 h 1 h before the race	55.50±8.23	57.25±4.19	0.570
赛后即刻 The end of the race	103.00±14.77	90.00±9.63	0.384
赛后 30 min 30 min after the race	46.50±1.73	44.75±2.50	0.389

2.3 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中抗氧化指标的影响

从表 5 可知，在血浆 MDA 含量方面，赛前 1 h 试验组与对照组差异不显著（P>0.05）；

赛后 30 min，对照组血浆中 MDA 含量明显升高，相比于赛前 1 h 提高 10.97%；赛后 24 h，各组血浆中 MDA 含量持续上升，但试验组要高于对照组（*P*＞0.05）。在血浆 CAT 活力方面，赛后 30 min 时试验组与对照组相比于赛前 1 h 均有所提高；赛后 24 h，对照组较赛后 30 min 稍有降低，但试验组较赛后 30 min 仍有所提高。在血浆 GSH-Px 活力方面，赛后 30 min 试验组与对照组相比于赛前 1 h 均降低；赛后 24 h，试验组比对照组提高 21.43%（*P*＞0.05）。在血浆 SOD 活力方面，赛后 24 h 试验组与对照组差异极显著（*P*＜0.01），试验组比对照组提高 21.00%。在血浆 T-AOC 方面，与赛前 1 h 相比，赛后 30 min 对照组和试验组血浆 T-AOC 均急剧上升，且试验组显著高于对照组（*P*＜0.05），比对照组提高 19.69%；赛后 24 h，各组血浆 T-AOC 趋于正常。

表 5　补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中抗氧化指标的影响

Table 5　Effects of supplemental feeding BCAA on plasma antioxidant indices of before and after 1 km trottring race in trotters (n=4)

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trail group	*P* 值 *P*-value
丙二醛 MDA/(nmol/mL)			
赛前 1 h 1 h before the race	2.37±0.53	2.77±0.15	0.189
赛后 30 min 30 min after the race	2.63±0.43	2.87±0.18	0.341
赛后 24 h 24 h after the race	3.96±0.80	4.10±0.63	0.783
过氧化物酶 CAT/(U/mL)			
赛前 1 h	9.87±1.32	8.69±1.92	0.353

1 h before the race			
赛后 30 min 30 min after the race	10.88±1.32	10.29±1.32	0.553
赛后 24 h 24 h after the race	10.84±0.65	11.84±0.43	0.091
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)			
赛前 1 h 1 h before the race	239.56±32.08	253.90±30.86	0.543
赛后 30 min 30 min after the race	193.01±24.34	178.01±21.30	0.389
赛后 24 h 24 h after the race	228.53±49.51	277.50±18.52	0.113
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)			
赛前 1 h 1 h before the race	36.81±1.78	37.86±2.13	0.478
赛后 30 min 30min after the race	39.64±5.09	39.71±2.24	0.981
赛后 24 h 24 h after the race	34.48 ± 1.49^{Bb}	41.72 ± 2.90^{Aa}	0.004
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)			
赛前 1 h 1 h before the race	2.57±0.53	2.54±0.32	0.924
赛后 30 min	3.25 ± 0.03^{b}	3.89 ± 0.13^{a}	0.021

30 min after the race			
赛后 24 h 24 h after the race	3.23±0.61	3.68±0.83	0.509

2.4 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆激素含量的影响

从表 6 可知，与赛前 1 h 相比，赛后 30 min 各组血浆 INS 含量均有所上升，赛后 24 h 试验组比对照组高 10.19%（*P*>0.05）。赛后 30 min 各组血浆 Gc 含量有所增加，赛后 24 h 各组 Gc 含量开始上升，试验组比对照组高 6.50%（*P*>0.05）。在血浆 COR 含量方面，赛前 1 h 试验组对照组差异不显著（*P*>0.05），赛后 30 min 各组 COR 含量呈下降趋势，赛后 24 h COR 水平持续下降，试验组降低明显。

表 6　补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中激素含量的影响

Table 6　Effects of supplemental feeding BCAA on of plasma hormone contents of before and after 1 km trottring race in trotters (*n*=4)

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trail group	*P* 值 *P*-value
胰岛素 INS/(mIU/L)			
赛前 1 h 1h before the race	9.96±1.07	11.95±1.08	0.086
赛后 30 min 30 min after the race	12.43±1.75	14.59±2.91	0.311
赛后 24 h 24 h after the race	14.72±1.90	16.22±0.15	0.244
胰高血糖素 Gc/(pg/mL)			
赛前 1 h	272.67±31.52	297.07±33.81	0.370

1 h before the race			
赛后 30 min 30 min after the race	287.92±43.45	287.14±33.58	0.978
赛后 24 h 24 h after the race	318.39±52.84	339.08±37.24	0.609
皮质醇 COR/(ng/mL)			
赛前 1 h 1 h before the race	144.93±22.18	145.22±20.03	0.736
赛后 30 min 30 min after the race	125.69±7.92	114.64±26.33	0.452
赛后 24 h 24 h after the race	102.58±11.63	91.15±13.58	0.330

2.5 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中肌酸、Glu 含量的影响

从表 7 可知，在血浆肌酸含量方面，赛后 30 min 时对照组、试验组差异不显著（$P>0.05$），赛后 24 h，试验组血浆中肌酸含量增加明显，比对照组高 39.63%（$P>0.05$）；在血浆 Glu 含量方面，赛前 1 h、赛后 30 min、赛后 24 h 对照组、试验组之间均差异不显著（$P>0.05$）。

表 7 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中肌酸、葡萄糖含量的影响

Table 7 Effects of supplemental feeding BCAA on plasma creatine and Glu contents of before and after 1 km trottring race in trotters (n=4)

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trail group	*P* 值 *P*-value
肌酸 Creatine/(nmol/mL)			
赛前 1 h	24.14±5.56	30.38±3.42	0.206

1 h before the race			
赛后 30 min 30 min after the race	24.24±2.64	30.38±3.42	0.464
赛后 24 h 24 h after the race	26.19±10.20	36.57±10.58	0.208
葡萄糖 Glu/(mmol/L)			
赛前 1 h 1 h before the race	5.58±0.46	5.96±0.87	0.850
赛后 30 min 30 min after the race	5.24±0.50	6.13±0.84	0.306
赛后 24 h 24 h after the race	5.56±0.32	5.84±0.39	0.572

2.6 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中 LA、Cre 含量的影响

从表 8 可知，赛后 30 min 时各组血浆中 LA 含量明显增加，且对照组高于试验组（*P*＞0.05），赛后 24 h 时各组血浆中 LA 含量开始降低；在血浆 Cre 含量方面，赛前 1 h 各组间差异不显著（*P*＞0.05），赛后 30 min 各组均提高且差异不显著（*P*＞0.05），赛后 24 h 各组间差异不显著（*P*＞0.05）。

表 8 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆乳酸、肌酐含量的影响

Table 8 Effects of supplemental feeding BCAA on plasma LA and Cre contents of before and after 1 km trottring race in trotters (*n*=4)

项目 Items	对照组 Control group	试验组 Trail group	*P* 值 *P*-value
乳酸 LA/(mmol/L)			
赛前 1 h	0.77±0.02	0.87±0.06	0.720

1 h before the race			
赛后 30 min 30min after the race	1.37±0.24	1.21±0.21	0.480
赛后 24 h 24 h after the race	1.15±0.10	1.13±0.07	0.830
肌酐 Creatinine/(μmol/L)			
赛前 1 h 1 h before the race	9.87±1.32	8.69±1.91	0.353
赛后 30 min 30 min after the race	10.88±1.32	10.29±1.32	0.553
赛后 24 h 24 h after the race	10.84±0.65	11.62±0.30	0.091

3 讨论

3.1 补喂 BCAA 对速步马运动性能的影响

随着对BCAA的深入研究发现，BCAA不仅影响机体内蛋白质的合成、分解，还可作为能量底物、糖异生底物，调节肌肉中蛋白质的代谢。Kim等[5]研究表明在进行耐力运动前给运动员补充BCAA可减少肌肉损伤、提高耐力运动的持续时间、降低疲劳反应。Watson等[6研究表明给运动员补充12 g BCAA可提高部分运动员的比赛成绩。

在本试验中，补喂 BCAA 可提高速步马 1 km 速步赛速度，这是由于 BCAA 是一类重要的，也是特殊的分解供能氨基酸。在肌肉中分解代谢旺盛，1 分子的亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸完全氧化后，分别产生 42、43、32 分子的 ATP[7]。试验组速步马连续补喂了 30 d 的 BCAA，BCAA 可在比赛中发挥其快速供能的作用，以及速步马在补喂 BCAA 的基础上进行有效的速步训练，从而提高了比赛成绩。

成年马正常的心跳范围为 30～42 bpm[8]。Gehlen 等[9]报道，纯血马在训练前静息状态下平均心率为 31.7 bpm。Colahan 等[10]报道，马匹备鞍后，骑手骑在马上测定的马的平均心

率(38±5) bpm，当以(548±90) m/min 的平均速度奔跑时心率达到了 184.23 bpm。在本试验中，各组马匹赛前心率略高于前人报道，这可能与速步马备鞍有关。赛后即刻和赛后 30 min，试验组心率均低于对照组，表明补喂 BCAA 不仅能够提高速步马的运动速度，还可降低比赛时心率。因此，补喂 BCAA 能够提高速步马比赛速度、降低赛时心率，同时有利于速步马赛后心率的恢复。

3.2 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中抗氧化指标的影响

速步马在高强度运动过程中机体内会发生氧化反应，对机体组织造成一些不可逆的损伤，导致运动机能减弱，严重影响速步马的运动性能[11]。研究表明，BCAA 在机体抗氧化过程中发挥明显的作用。BCAA 可通过机体代谢经血液循环进入到组织细胞，阻断自由基在机体细胞膜上的链式反应，并清除机体运动或损伤后产生的过多自由基，减少脂质过氧化反应终产物 MDA 的产生[12]，同时提高机体内 SOD 和 GSH-Px 等抗氧化酶的活力。

本试验中，补喂BCAA可提高速步马赛后30 min血浆中SOD活力及T-AOC，提高赛后24 h血浆中CAT、GSH-PX、SOD活力及T-AOC，表明BCAA在速步马体内发挥了一定的抗氧化作用。SOD、GSH-Px属于蛋白质酶，其合成代谢过程中的翻译或转录均会受到氨基酸浓度的影响[13]。部分BCAA还可通过血液循环进入组织细胞，有利于清除自由基，阻断脂质被进一步氧化，保护机体免受损伤[14]。在本试验中，连续30 d补喂BCAA可提高速步马血浆中SOD、GSH-Px活力。

3.3 补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中激素含量的影响

动物体内激素调控受多种因素影响，如运动会导致血浆中 INS、Gc 和 COR 含量的变化，且与糖代谢供能有直接的关系。Xiao 等[15]报道，训练可提高运动员训练后血浆中 COR 含量，降低 INS 含量。Davies 等[16]研究不同运动强度下血浆 COR 含量的变化，当运动强度低于 50%V_{O_2}max 运动时，会引起血浆 COR 含量的下降，而当以运动强度大于 60%V_{O_2}max 运动时，血浆 COR 的含量增加。

在本试验中，赛后 30 min 及赛后 24 h 对照组与试验组血浆中 INS 含量与赛前 1 h 相比均有所升高，是由于 INS 是加强糖异生作用的主要激素，速步马在比赛中需要大量糖原，肝糖元异生作用也随之加强，则使 INS 分泌增强。在血浆 Gc 含量方面，各组赛后 24 h 血浆中 Gc 含量均高于赛前 1 h 及赛后 30 min，这可能是由于赛后 24 h 为速步马赛后恢复期，Gc 含量的增加有利于机体内 Glu 含量的恢复。血浆中 COR 含量受运动强度的影响，且高强度运动后 COR 含量会持续降低，直到肾上腺皮质分泌大量的 COR 后才得以恢复[17]。本试验中各组速步马赛后 30 min 及赛后 24 h 血浆中 COR 含量持续降低，与 Davies 等[16]的研究结果一致。

3.4　补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中肌酸、Glu 含量的影响

Glu 和肌酸是动物体内直接和间接的能源物质，在运动中对能量的供应至关重要。动物体内肌酸主要在肝脏和肾脏中合成，广泛分布于骨骼肌、心肌、大脑等组织中。肌酸主要以甘氨酸为骨架，精氨酸提供脒基，在脒基转移酶和甲基转移酶的催化下合成。血浆中肌酸含量受到动物品种、饲粮中氨基酸组成及生理状态有关。血浆中的 Glu 可通过饲粮中脂肪、蛋白质转化而来。Sewell 等[18]报道，在静息状态下纯血马血浆中肌酸含量为 8～103 μmol/L。Falavigna 等[19]以成年大鼠为研究对象，探究补喂 BCAA 对成年大鼠的影响，结果表明补喂 BCAA 后，大鼠运动前血浆中 Glu 含量显著高于运动后。

在本试验中，对照组赛前1 h、赛后30 min、赛后24 h血浆中肌酸含量无显著变化，而试验组赛后24 h血浆中肌酸含量较赛前1 h、赛后30 min有所增加，表明补喂BCAA可提高血浆中肌酸含量，其原因可能是BCAA可调节动物体内蛋白质合成过程[3]，对肌酸的合成有积极作用。试验组赛前1 h、赛后30 min、赛后24 h血浆中Glu含量均高于对照组，这是由于补喂的BCAA具有氧化功能，特别是长时间的耐力运动会使BCAA在肌肉中的氧化增加而参与供能[20]，从而使血浆中Glu含量增加。

3.5　补喂 BCAA 对速步马 1 km 速步赛赛前、赛后血浆中 LA、Cre 含量的影响

在剧烈运动时，速步马体内会进行无氧代谢，产生大量 LA，使呈弱碱性的体液变为酸性，影响细胞顺利吸收营养和氧气，削弱细胞的正常功能，严重影响速步马的运动性能[21]。Falavigna 等[19]给成年大鼠长期补喂不同剂量的 BCAA，测定训练后 1 h 和力竭时血浆中 LA 的含量，结果表明补喂 BCAA 可显著降低血浆中 LA 含量。刘建红等[22]证实给划船运动员补充 BCAA 可显著降低血浆中 LA 含量。

在本试验中，试验组马匹赛后30 min及赛后24 h血浆中LA含量均低于对照组，表明补喂BCAA可减少速步马运动后血液中LA的堆积，降低机体的疲劳，可能与补充BCAA可使骨骼肌乳酸脱氢酶活力接近正常组水平，从而减少骨骼肌中LA的积累和向血清的转移，减少血浆中LA的含量有关[14]。Cre是肌酸和磷酸肌酸代谢的终产物，它主要由肌肉中磷酸肌酸的非酶促反应生成，Cre的生成影响机体的运动能力。在本试验中，补喂BCAA对速步马赛前1 h、赛后30 min、赛后24 h血浆中Cre含量无显著影响，这可能与速步马的生理状态有关，有待于进一步研究。

4 结 论

在试验条件下，补喂 BCAA 可缩短速步马比赛用时，提高速步马机体的抗氧化能力，但对血浆中激素、葡萄糖、肌酸以及乳酸、肌酐含量无显著影响。

参考文献：

[1] 谢小利,王敏奇.支链氨基酸在动物营养中的研究进展[J].中国饲料,2009(11):11–14.

[2] CHANG C K,CHANG C K M,HUANG J H,et al.Branched-chain amino acids and arginine improve performance in two consecutive days of simulated handball games in male and female athletes:a randomized trial[J].PLoS One,2015,10(3):e0121866.

[3] 王良峡,刘若颖,林福鸿,等.支链氨基酸在运动中的作用研究进展[J].氨基酸和生物资源,2015,37(1):7-12.

[4] 刘运飞.初级耐力训练对伊犁马血液生化指标及其运动成绩影响的初步研究[D].硕士学

位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2014:23.

[5] KIM D H,KIM S H,JEONG W S,et al.Effect of BCAA intake during endurance exercises on fatigue substances,muscle damage substances,and energy metabolism substances[J].Journal of Nutrition Biochemisty,2013,17(4):169–180.

[6] WATSON P,SHIRREFFS S M,MAUGHAN R J.The effect of acute branched-chain amino acid supplementationon prolonged exercise capacity in a warm environment[J].European Journal of Applied Physiology,2004,93(3):306–314.

[7] 王镜岩,朱圣庚,徐长发.生物化学[M].北京:高等教育出版社,2002:134.

[8] 姚新奎,韩国才.马生产管理学[M].北京:中国农业大学出版社,2008:147.

[9] GEHLEN H,WEICHLER A,BUBECK K,et al.Effects of two different dosages of dobutamine on pulmonary artery wedge pressure,systemic arterial blood pressure and heart rate in anaesthetized horses[J].Journal of Veterinary Medicine Series A,2006,53(9):476–480.

[10] COLAHAN P T,JACKSON C A,RICE B,et al.The effect of sildenafil citrate administration on selected physiological parameters of exercising Thoroughbred horses[J].Equine Veterinary Journal,2010,42(S38):606–612.

[11] HOWATSON G,HOAD M,COODALL S,et al.Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids:a randomized, double-blind,placebo controlled study[J].Journal of International Society of Sports Nutrition,2012,9(1):20–26.

[12] KNECHTLE B,MRAZEK C,WIRTH A,et al.Branched-chain amino acid supplementation during a 100-km ultra-marathon-a randomized controlled trial[J].Journal of Nutritional Science and Vitaminology,2012,58(1):36–44.

[13] BLOMSTRAND E,NEWSHOLME E A.Effect of branched-chain amino acid

supplementation on the exercise-induced change in aromatic amino acid concentration in human muscle[J].Acta Physiologica Scandinavica,1992,146(3):293–298.

[14] GUALANO A B,BOZZA T,LOPES DE CAMPOS P,et al.Branched-chain amino acids supplementation enhances exercise capacity and lipid oxidation during endurance exercise after muscle glycogen depletion[J].The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness,2011,51(1):82–88.

[15] XIAO F,YU J J,GUO Y J,et al.Effects of individual branched-chain amino acids deprivation on insulin sensitivity and glucose metabolism in mice[J].Metabolism,2014,63(6):841–850.

[16] DAVIES C T M,FEW J D.Effects of exercise on adrenocortical function[J].Journal of Applied Physiology,1973,35(6):887–891.

[17] ATASHAK S,BATURAK K,AZARBAYJANI M A,et al.Hormonal responses to acute resistance exercise after branched-chain amino acids supplementation[J].International Medical Journal,2015,22(1):1–5.

[18] SEWELL D A,HARRIS R C.Effects of creatine supplementation in the Thoroughbred horse[J].Equine Veterinary Journal,1995,27(Suppl.18):239–242.

[19] FALAVIGNA G,DE ARAÚJO J J A,ROGERO M M,et al.Effects of diets supplemented with branched-chain amino acids on the performance and fatigue mechanisms of rats submitted to prolonged physical exercise[J].Nutrients,2012,4(11):1767–1780.

[20] BLOMSTRAND E,HASSMÉN P,EKBLOM B,et al.Administration of branched-chain amino acids during sustained exercise—effects on performance and on plasma concentration of some amino acids[J].European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology,1991,63(2):83–88.

[21] 王宁,王建文,孟军,等.间歇训练法对速步马血液生化指标影响的研究[J].新疆农业科

学,2014,51(12):2308–2314.

[22] 刘建红,周志宏,黄金丽,等.补充支链氨基酸对划船运动员不同负荷运动后血丙氨酸、葡萄糖及乳酸的影响[J].中国运动医学杂志,2005,24(2):132–136.

Effects of Supplemental Feeding Branched-Chain Amino Acids on Result of 1 km Trot Training Race and Plasma Biochemical Indices at before and after 1 km Trotting Race in Trotters

LI Xiaobin MA Jun NIE Biaobiao YANG Jingtao QIAO Chunjiang YANG Kailun*

(*College of animal science, Xinjiang Agricultural University, Xinjiang Key Laboratory of Meat & Milk Production Herbivore Nutrition, Urumqi* 830052, *China*)

Abstract: This experiment aimed to study the effects of supplemental feeding branched-chain amino acids on result of 1 km trotting race, and plasma antioxidant indices and the contents hormone, creatine, glucose, lactic acid and creatinine before and after of 1 km trotting race in trotters, and provided the reference data for branched-chain amino acids application in training and competition of trotters. Eight *Yili* male horses (which were used in trotting race) with the similar age （4-year-old） and body weight [(457±50) kg] based on strict training were divided into 2 groups. First group was control group, the other was trial group, and each group had 4 horses. Each horse was fed with 3 kg pelleted concentrate every day, and allowed free access to alfalfa hay. Besides, each horse in the trial group was fed with 72 g branched-chain amino acids (containing leucine 35.0 g, isoleucine 16.6 g and valine 20.4 g). The 38 d supplemental feeding and training experiment consisted of a 7 d adaptation period and a 31 d trial period. The results showed that supplemental feeding branched-chain amino acids could improve the result of 1 km trotting race in trotters, and increase the plasma total antioxidant capacity (T-AOC) at 30 min after the race and the plasma superoxide dismutase (SOD) activity at 24 h after the race （$P<0.05$）, but there were no significant effects on the contents of hormones, creatine, glucose, lactic acid and creatinine in plasma before and after of 1 km trotting race ($P>0.05$). Therefore, supplemental feeding branched-chain amino acids can shorten the time of 1 km trotting race in trotters, increase the antioxidant ability, but have no significant effects on the contents of hormones, glucose, creatine, lactic acid and creatinine in plasma.

Key words: branched-chain amino acids; trotters; athletic performance; plasma biochemical indices

*Corresponding author, professor, E-mail: yangkailun2002@aliyun.com (责任编辑 菅景颖)